

# 热转移印刷中承印物热力学性能的研究

李思慧, 钱军浩

(江南大学, 无锡 214122)

**摘要:** 热转移印刷中温度及压力是影响印刷质量的关键因素, 通过对热转移印刷中承印物的热力学性能研究, 分析了承印物在高温条件下的蠕变曲线, 以及热转移印刷中转印温度、转印时间及印刷压力对热转移印刷质量的影响, 为实际印刷操作中转印温度的控制, 转印时间及印刷压力的确定提供理论依据。

**关键词:** 热转移印刷; 蠕变现象; 转印温度; 印刷压力

**中图分类号:** TS802.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)01-0119-04

## Research of Substrate Thermodynamic Performance in Thermal Transfer Printing

LI Si-hui, QIAN Jun-hao

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Temperature and pressure of thermal transfer printing are the key factors influencing printing quality. The thermodynamic performance of substrate in thermal transfer printing was studied. The creep curve of the substrate in high temperature and thermal transfer printing quality influenced by transfer temperature, transfer time and printing pressure was analyzed. The purpose was to provide a theoretical basis for determination of transfer temperature, transfer time and printing pressure in actual printing operation.

**Key words:** thermal transfer printing; creep phenomenon; transfer printing temperature; printing pressure

热转移印刷是指在特殊的转移印刷纸或转移印刷薄膜(即色带)上先印制好所需图案, 通过熔化表面涂布层(油墨层), 将图案转移印刷到承印物上, 在温度和压力两种物理因素的作用下使油墨与承印材料粘结到一起<sup>[1]</sup>。热转移印刷的主要特点是转印图像色彩鲜艳, 层次丰富, 产品经久耐用, 图像不会脱落、龟裂和褪色。热转移印刷应用范围较广, 从织物、丝绸印花到陶瓷、金属、玻璃等工艺品表面印刷, 以及各种标签、条码、不干胶印刷都可以用热转移印刷实现。热转移印刷的质量与转印温度、转印时间及印刷压力这几个因素关系密切, 文中主要通过上述 3 个因素对印刷质量的影响进行分析与研究, 确定适合于热转移印刷的转印温度、转印时间及印刷压力。

### 1 热转移印刷的过程

热转移印刷的过程见图 1, 可以简单归纳为以下

2 个步骤。

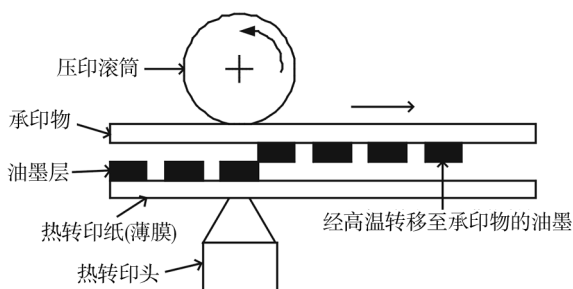


图 1 热转移印刷过程

Fig. 1 Diagram of thermal transfer printing process

1) 将油墨染料等以数字印刷形式(利用扫描仪等数字化设备获得数字图像, 输入计算机, 经过电脑分色系统编辑, 用印染专用喷墨印花系统)将专用墨水直接喷印到各种转印纸张上, 或者以传统印刷形式(胶印、丝印、凹印等)将图案印刷至热转印纸上<sup>[2]</sup>。

2) 通过对热转印纸采用加热、加压等方法,将图案转移至承印物上。印刷时热转印纸上的油墨与承印物接触,来自转印机打印头的热量加到热转印纸基底膜上。局部熔化的油墨层令承印物潮湿,不久就重新恢复到固体状态。由于承印物通常比热转印纸的基底薄膜层更粗糙,因而重新固化的油墨将优先粘接到承印物上。此后,承印物与热转印纸分离,已转移油墨留在承印物的成像区域<sup>[3]</sup>。

从图1可以看出,热转移印刷的关键步骤是通过热转印头的加热及压印滚筒的加压,使热转印纸上的图案转移至承印物上。为了获得高质量的印刷品,有必要对承印物的热力学性能进行研究,最终确定热转移印刷的转印温度、转印时间及印刷压力。

## 2 承印物的热力学性能

陶瓷是热转移印刷中较为常用的承印物,同时也具备明显的热力学性能,因此以陶瓷为例研究热转移印刷的转印温度及印刷压力具有典型性。文中将以日常生活用陶瓷瓶作为研究对象(其主要成分是硅酸盐矿物),来研究其热力学性能。

### 2.1 陶瓷在常温下的力学性能

物体受外加载荷作用时,在单位面积上所受到的力称为应力,用 $\sigma$ 表示。物体在外力作用下,单位长度(或面积)上的变形量称为应变,用 $\varepsilon$ 表示。应变是应力作用的结果,每种应力对应一种应变。

陶瓷作为一种脆性材料在拉伸变形时只产生弹性变形,一般不产生或产生很微量的塑性变形,其应力-应变曲线见图2<sup>[4]</sup>。

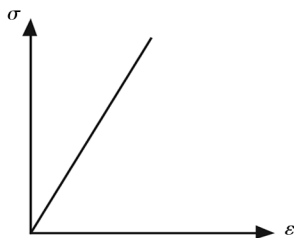


图2 陶瓷的应力-应变曲线

Fig. 2 The stress-strain curve of ceramic

由图2可以看出,陶瓷在弹性变形阶段,应力与应变成正比关系。即在拉伸时:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1)$$

式中: $E$ 为弹性模量,是度量材料刚度的系数或者表征材料对弹性变形的抗力,其值越大,则表示在相同应力下产生的弹性变形就越小<sup>[5]</sup>。

### 2.2 陶瓷在高温下的蠕变特性

室温下具有优良力学性能的承印材料不一定能满足高温下对力学性能的要求,而且热转移印刷过程中所用承印物的力学性能随温度变化的规律也各不相同。承印物在高温和恒定应力作用下,即使应力低于弹性极限,也会发生缓慢的塑性变形,该现象称为材料的蠕变。下面通过陶瓷在高温下的蠕变曲线来描述陶瓷的蠕变过程,见图3。

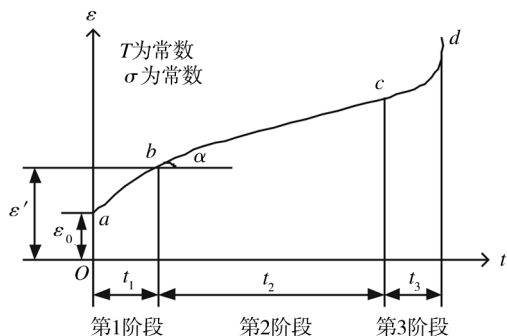


图3 陶瓷的蠕变曲线

Fig. 3 The creep curve of ceramic

图3中, $Oa$ 段是陶瓷样品在温度 $T$ 下承受恒定应力 $\sigma$ 时所产生的起始伸长率 $\varepsilon_0$ 。 $Oa$ 段是瞬时应变,是外加载荷引起的一般过程,不是蠕变。蠕变曲线可以分为3个阶段:第1阶段为 $ab$ 区,该阶段开始时蠕变的速率较大,随着时间 $t$ 的增大,蠕变速率逐渐减小到 $b$ 点,达到最小值,该阶段被称为减速蠕变阶段或过渡蠕变阶段;第2阶段为 $bc$ 区,该阶段蠕变速率基本保持不变,说明硬化与软化相平衡,蠕变的速率最小,通常称之为稳态蠕变或恒速蠕变阶段;第3阶段为 $cd$ 区,该阶段蠕变速率随时间的增加开始变大,最终导致失稳断裂,该阶段称之为加速蠕变阶段<sup>[4]</sup>。

整个蠕变曲线中的应变为:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \beta t^n + \alpha t \quad (2)$$

式中: $\alpha, \beta$ 和 $n$ 均为常数; $\beta t^n$ 反应减速蠕变应变; $\alpha t$ 反应恒速蠕变应变。对式(2)进行关于时间 $t$ 的求导,得到蠕变速率:

$$\varepsilon' = \beta n t^{n-1} + \alpha \quad (3)$$

由于 $0 < n < 1$ ,因此当 $t$ 较小,即开始蠕变时, $\beta n t^{n-1}$

起主导作用,它表示应变速率随时间  $t$  的增加而下降,即减速蠕变阶段;当  $t$  很大时, $\alpha$  逐渐起主导作用,应变速率接近恒定值,即恒速蠕变阶段。 $\alpha, \beta$  和  $n$  值是与温度、应力及材料性质有关的常数,其中, $\alpha$  的物理意义是第 2 阶段的蠕变速率。

在特定温度、应力及承印物的条件下得到的陶瓷蠕变曲线见图 3,该曲线仅表示了时间与蠕变的关系。对同一种承印物,仍以陶瓷为例,其蠕变曲线形状也会随应力和温度的变化而发生改变,分别见图 4 和 5。

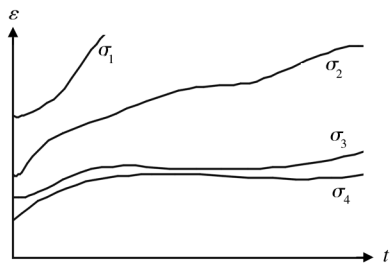


图 4 应力对陶瓷蠕变曲线的影响

Fig. 4 Influence of stress on ceramic creep curve

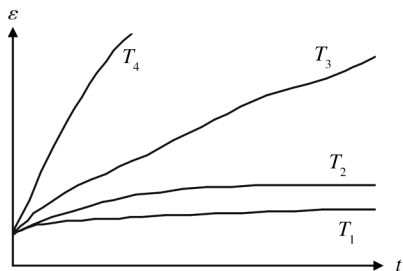


图 5 温度对陶瓷蠕变曲线的影响

Fig. 5 Influence of temperature on ceramic creep curve

图 4 是在固定温度(以 200 °C 为例<sup>[6]</sup>)的条件下,得到的不同应力下的陶瓷蠕变曲线( $\sigma_4 < \sigma_3 < \sigma_2 < \sigma_1$ ),图 5 是在固定应力(以 10 kPa 为例)的条件下,得到的不同温度的陶瓷蠕变曲线( $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ )。从图 4 和 5 可以看出,温度升高或应力增大,陶瓷蠕变曲线第 2 阶段缩短。在高温或高应力下,甚至没有第 1 或第 1,2 阶段;在低应力或低温度下,只有第 1,2 阶段。

### 2.3 实验验证

为了反映温度、应力对蠕变的影响,引入蠕变激活能等因素<sup>[7]</sup>,可以得到:

$$\dot{\varepsilon} = A\sigma^n [\exp(-Q_c/kT)]^m \quad (4)$$

式中: $A$  为陶瓷材料常数; $n$  为应力指数; $m$  为常数; $Q_c$  为蠕变激活能; $k$  为波尔兹曼常数。可以看出  $\dot{\varepsilon}$  与  $T, \sigma$  呈指数关系,当温度  $T$  为定值时,对时间  $t$  求导,可得到蠕变速率:

$$\dot{\varepsilon}' = A\sigma^n m t^{m-1} [\exp(-Q_c/kT)]^m \quad (5)$$

对式(5)两边取对数可以得出:

$$\ln \dot{\varepsilon}' = \ln A + n \ln \sigma - m Q_c / kT + \ln m + (m-1) \ln t \quad (6)$$

其中,波尔兹曼常数  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  J/K,应力指数  $n$  可以在一定温度下通过计算  $\ln \dot{\varepsilon}'$  与  $\ln \sigma$  的斜率,取平均值求得,  $n = 0.609$ ;蠕变活化能  $Q_c$  与  $m$  的乘积可以在一定应力下,通过计算  $\ln \dot{\varepsilon}'$  与  $1/T$  曲线的斜率,取平均值求得,  $m Q_c = -447.94$  kJ/mol。选用热转移印刷常用的陶瓷瓶作为实验对象进行实验,陶瓷瓶材料常数  $A = 0.00132$ <sup>[7]</sup>。

在应力为 10 kPa,温度分别为 190, 200, 210 °C 时,加热时间对蠕变速率的影响见图 6。从图 6 中可

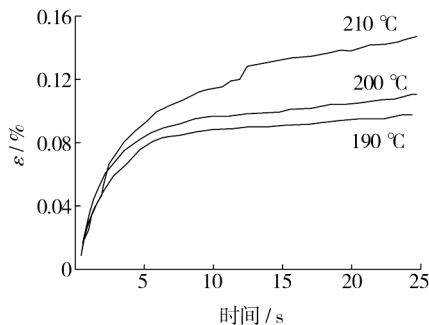


图 6 不同温度条件下陶瓷蠕变速率与加热时间的关系

Fig. 6 The relationship between ceramics creep rate and heating time under different temperature

以看出,当蠕变进行到 5 ~ 10 s 时,曲线逐渐趋于平稳,说明承印物正处于恒速蠕变阶段,此时进行转印效果最好。在热转移印刷达到转印温度时,最好预热一段时间,待承印物处于稳定阶段再进行转印,确保转印完全,墨迹清晰<sup>[8]</sup>。同理也可以固定温度,通过改变应力大小得到不同应力条件下陶瓷蠕变速率与加热时间的关系。

## 3 结果分析

热转移印刷的工艺并不复杂,关键是要控制好转印温度、转印时间以及印刷压力。理想的情况是高温条件下,在尽可能短的时间内完成热转移印刷。

1) 在印刷压力一定的情况下,随着温度的升高

和时间的增加,承印物(陶瓷)形变的速率加快。为了保证印刷品的质量,应该在承印物(陶瓷)处于恒速蠕变的情况下进行转印,这是由于该阶段承印物(陶瓷)的形态最稳定。

2) 在转印温度一定的情况下,随着印刷压力的增加,承印物(陶瓷)会出现微小的形变,根据热转移印刷机种类的不同,一般确定热转印温度为 190 ~ 210 ℃。

3) 热转移印刷的最佳转印时间由转印温度决定,而转印温度又由油墨的最佳转移温度和承印物(陶瓷)的耐热性能决定。随着转印温度的升高,转印的时间会缩短。一般确定热转印时间为 10 ~ 25 s。

## 4 结论

通过对陶瓷热力学性能的研究,分析了其蠕变特性曲线,为研究热转移印刷提供了一个思路。在今后的实际操作中可以具体分析所用承印物的蠕变特性,确定该承印物的恒速蠕变范围,在进行热转移印刷时,转印温度和印刷压力要控制在使承印物处于恒速蠕变的范围内,在承印物比较稳定的条件下进行热转移印刷。从生产效率方面来看,希望在不使承印物受到影响的前提下,采取尽可能高的转印温度,以减少转印时间。

## 参考文献:

- [1] DREES F, GRETHEN H, NISIUS R, et al. Performances of Thermal Transfer Printing and Their Improvement by Model Calculations[J]. Conference Publications, 1989, 12(5): 40-42.
- [2] 徐峰. 数码热转印技术发展与市场展望[J]. 今日印刷, 2008, 3(1): 23.  
XU Feng. Digital Thermal Transfer Technology Development and Market Outlook[J]. Today Printing, 2008, 3(1): 23.
- [3] 姚海根. 热打印技术方兴未艾[J]. 出版与印刷, 2010, 1(1): 26-30.  
YAO Hai-gen. Thermal Transfer Printing Technology in the Ascendant[J]. Publishing and Printing, 2010, 1(1): 26-30.
- [4] 王磊. 材料的热力学性能[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2007.  
WANG Lei. The Thermodynamics Properties of Materials[M]. Shenyang: Northeastern University Published, 2007.
- [5] 冯瑞乾. 印刷原理及工艺[M]. 北京: 印刷工业出版社, 1999.  
FENG Rui-qian. Printing Process and Principle[M]. Beijing: Graphic Communications Press, 1999.
- [6] 郭凌华. 高温热转移印花纸印刷质量评价探析[J]. 包装工程, 2011, 32(5): 97-99.  
GUO Ling-hua. Printing Quality Evaluation of the High Temperature Heat Transfer Printing Paper[J]. Package Engineering, 2011, 32(5): 97-99.
- [7] 夏熠. 稳定化预处理对 C/SiCN 蠕变行为的影响[J]. 材料导报, 2010, 24(2): 5-8.  
XIA Yi. Effect of Pre-stabilization of C/SiCN on Its Tensile Creep Behavior[J]. Materials Review, 2010, 24(2): 5-8.
- [8] LEE C H, KIM D R, ZHENG X L. Fabrication of Nanowire Electronics on Nonconventional Substrates by Water-Assisted Transfer Printing Method[J]. Nano Letters, 2011, 11(8): 3435-3439.